

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND

DEUTSCHES  
PATENTAMT

## (12) Offenlegungsschrift

(10) DE 44 15 783 A 1

(51) Int. Cl. 6:

B 23 K 37/00

C 04 B 37/00

B 29 C 39/42

B 23 K 26/00

B 22 F 3/00

(21) Aktenzeichen: P 44 15 783.5

(22) Anmelddetag: 5. 5. 94

(43) Offenlegungstag: 10. 8. 95

(30) Innere Priorität: (32) (33) (31)

04.02.94 DE 44 03 453.9

(71) Anmelder:

Rothe, Rüdiger, Prof. Dr.-Ing., 28757 Bremen, DE

(74) Vertreter:

Bolte, E., Dipl.-Ing.; Möller, F., Dipl.-Ing.; Heiland, K.,  
Dipl.-Ing., 28209 Bremen; Popp, E.,  
Dipl.-Ing.Dipl.-Wirtsch.-Ing.Dr.rer.pol.; Sajda, W.,  
Dipl.-Phys.; Bohnenberger, J., Dipl.-Ing.Dr.phil.nat.;  
Reinländer, C., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anwälte,  
80538 München; Dettmann, F., Dr. jur., Rechtsanw.,  
28209 Bremen

(72) Erfinder:

gleich Anmelder

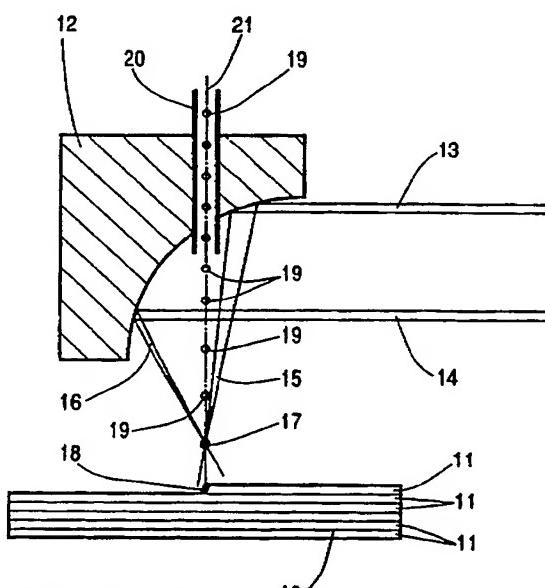
(55) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 43 05 201 C1  
 DE 41 22 326 C1  
 DE 35 00 724 C1  
 DE 34 40 870 C2  
 DE 34 22 638 C2  
 DE 36 17 008 A1  
 DE 36 14 098 A1  
 DE 30 38 707 A1  
 US 53 04 329  
 US 50 43 548  
 US 47 24 299  
 US 39 71 911  
 EP 04 91 636 A1  
 EP 04 31 924 A2  
 EP 02 89 116 A1  
 EP 5 58 870 A1

HANUSCH,Kunibert: Plasmagespritzte Überzüge. In:  
 BLECH Nr.8/1968, 15.Jg., S.453-461;  
 SIMON,Harald;  
 THOMA,Martin: Angewandte Ober- flächentechnik  
 für metallische Werkstoffe, Carl Hanser Verlag  
 München Wien, 1985, S.6-8,203-208;  
 JP 57-47591 A. In: Patents Abstracts of Japan, M-140,  
 July 3,1982,Vol.6,No.120;

(54) Verfahren zur Freiformherstellung von Werkstücken

(57) Bei der (spanlosen) Freiformherstellung von Werkstücken werden insgesamt geschmolzene Materialpartikel (19) miteinander verschweißt zur Bildung des Werkstücks (10). Beim Abkühlen der vollständig geschmolzenen Materialpartikel (19) findet ein Schwinden bzw. Schrumpfen statt, das zu Abweichungen des Werkstücks (10) von der Sollgeometrie und einem Verziehen des Werkstücks (10) führt. Erfnungsgemäß wird nur eine Randschicht der zur Bildung des Werkstücks (10) dienenden Materialpartikel (19) erwärmt. Nach dem darauffolgenden Verschweißen kühlen die Materialpartikel (19) ab, indem sich die Wärme in das Innere der Materialpartikel (19) verteilt. Dadurch erfahren die Materialpartikel (19) nur eine geringe Temperaturerhöhung, wodurch ein maßhaltiges und verzugsfreies Werkstück (10) entsteht.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 06. 95 508 032/498

6/31

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Freiformherstellung von Werkstücken gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Mit dem hier angesprochenen Verfahren lassen sich beliebige Werkstücke, und zwar auch solche mit komplexer Gestalt, ohne Formen nichtspanend herstellen. Damit eignet sich das Verfahren besonders zur Herstellung von Prototypen und Werkstücken, für die nur eine kleine Serie aufgelegt wird.

Es ist bekannt, Werkstücke durch Freiformen herzustellen, indem vollständig geschmolzene Materialpartikelchen schichtweise miteinander verschweißt werden. Es hat sich gezeigt, daß beim Abkühlen der geschmolzenen Materialpartikelchen das Werkstück in erheblichem Maße schwindet bzw. schrumpft.

Das führt zu erheblichen Abweichungen des fertigen Werkstücks von seiner Sollgeometrie. Insbesondere kommt es zu Winkelverformungen, die ein Verziehen der Werkstücke zur Folge haben.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, mit dem sich maßhaltige und verzugsfreie Werkstücke durch Freiformen herstellen lassen.

Ein zur Lösung dieser Aufgabe dienendes Verfahren weist die Merkmale des Anspruchs 1 auf. Der Erfindung liegt somit der Grundgedanke zugrunde, die Materialpartikel nur so weit zu erwärmen, daß die Erwärmung auf den Randbereich der Materialpartikel beschränkt bleibt. Die erfundungsgemäß nur oberflächliche Erwärmung der Materialpartikel erfolgt mit einer Intensität, die ausreicht zur Verschweißung benachbarter Materialpartikel zumindest durch Diffusionsschweißung. Die Wärme verteilt sich im Inneren der Materialpartikel, wodurch diese nur eine insgesamt geringe Temperaturerhöhung erfahren. Eine Verformung der Materialpartikel, wie sie beim aus dem Stand der Technik bekannten durchgehenden Erwärmen der Materialpartikel erfolgt, wird durch die nur oberflächliche Erwärmung vermieden. Dadurch sind Geometrieveränderungen des Werkstücks — sofern sie überhaupt auftreten — nur minimal.

Erfundungsgemäß erfolgt die nur randseitige Erwärmung einer äußeren Randschicht der Materialpartikel durch eine Energiequelle hoher Intensität, beispielsweise einen Laser. Dieser ermöglicht in Sekundenbruchteilen ein Aufschmelzen einer dünnen Randschicht der Materialpartikel. In bestimmten Fällen kann es auch ausreichend sein, die Materialpartikel im Bereich ihrer äußeren Materialschicht nur zu erwärmen, ohne daß es dabei zum Anschmelzen der Randschicht kommt. Demgegenüber kann eine Erwärmung der Materialpartikel bis zum partiellen Verdampfen des äußeren Materials erfolgen, wodurch gleichzeitig eine Reinigung der Oberfläche der Materialpartikel erfolgt.

Die Verwendung von Energiequellen hoher Intensität ermöglicht es ferner, die Materialpartikel fließend, nämlich auf einem Teilbereich ihrer Bewegungsbahn zum herzustellenden Werkstück, oberflächlich zu erwärmen bzw. anzuschmelzen. Es reicht zur Erwärmung der Randschichten der Materialpartikel aus, wenn diese beim Durchtritt durch den Fokuspunkt eines oder mehrerer Energierstrahlen bestrahlt werden.

Nach einer bevorzugten Weiterbildung des erfundungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Verschweißen der oberflächlich angeschmolzenen oder erwärmten Metallpartikel unter Zuhilfenahme eines Impulses. Diesen Impuls können die Materialpartikel während ihrer

Erwärmung erhalten, beispielsweise durch die zum außenseitigen Erwärmen bzw. Anschmelzen der Metallpartikel dienende Hochleistungs-Energiequelle. Diese erfüllt somit gleichermaßen zwei Aufgaben. Darüber

5 hinaus kann der Impuls durch einen die Materialpartikel transportierenden Gasstrom, beispielsweise Schutzgas, erzeugt werden. Weiterhin kann ein elektrodynamischer Impuls durch ein Magnetfeld gebildet werden. Schließlich kann der Impuls zustande kommen durch 10 oberflächlich verdampftes Material der Materialpartikel.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Die einzige Figur der Zeichnung zeigt schematisch einen Teil einer Vorrichtung zur Herstellung eines Werkstücks nach dem erfundungsgemäßen Verfahren.

Das erfundungsgemäße Verfahren dient zur span- und formlosen Herstellung von Werkstücken aus thermisch behandelbaren Materialien, insbesondere Metallen, Keramiken und Kunststoffen. Das in der Zeichnung stark vereinfacht dargestellte Werkstück 10 wird hergestellt durch Verschweißen einzelner Materialpartikel 19, beispielsweise kleiner Metallkörner. Aus den Materialpartikeln 19 wird das Werkstück 10 schichtweise hergestellt. Das Werkstück 10 wird demnach gebildet durch eine Mehrzahl übereinanderliegender Schichten 11 aus rasterartig aneinanderliegenden Materialpartikeln 19. Die Materialpartikel 19 sind mit benachbarten Materialpartikeln 19 derselben Schicht 11 und benachbarter 25 Schichten 11 verschweißt. Jede Schicht 11 liegt in einer Ebene, und zwar vorzugsweise einer horizontalen Ebene. Die Ränder jeder Schicht 11 entsprechen einem in der entsprechenden Ebene des herzustellenden Werkstücks 10 liegenden Schnitts. Die erste (unterste) Schicht 30 11 wird vorzugsweise auf eine in der Zeichnung nicht gezeigte feste Unterlage aufgebracht.

Erfundungsgemäß werden die Materialpartikel 19 zur Verschweißung mit benachbarten Materialpartikeln 19 nur teilweise erwärmt. Diese Erwärmung erfolgt vorzugsweise derart, daß nur eine äußere Schicht der einzelnen Materialpartikel 19 vollständig oder zumindest größtenteils erwärmt bzw. angeschmolzen wird. Diese Erwärmung erfolgt nur soweit es zur Verschweißung der benachbarten Materialpartikel 19 erforderlich ist. 40 Vorzugsweise wird nur eine dünne, äußere Randschicht der Materialpartikel 19 erwärmt. Diese Erwärmung kann soweit gehen, daß eine vorzugsweise geschlossene Mantelfläche der Materialpartikel 19 geschmolzen ist, wobei das Material eines äußeren Teils der Randschicht gegebenenfalls verdampfen kann. Die Erwärmung der Materialpartikel 19 kann sowohl vor als auch während der Verschweißung erfolgen. In der Zeichnung ist vorgesehen, die Materialpartikel 19 vor der Verschweißung zu erwärmen, nämlich bevor die Materialpartikel 19 ihre vorgesehene Position auf dem herzustellenden Werkstück 10 erreicht haben.

Die Zeichnung zeigt schematisch einen Umlenkspiegel 12 einer im übrigen nicht dargestellten Bearbeitungsoptik. Im gezeigten Ausführungsbeispiel werden am Umlenkspiegel 12 zwei Einfallstrahlen 13 und 14 derart umgelenkt, daß zwei korrespondierende Ausfallstrahlen 15 und 16 auf einen gemeinsamen Fokuspunkt 17 fokussieren. Der Fokuspunkt 17 befindet sich mit geringem Abstand oberhalb des jeweiligen 55 Schweißpunkts 18 auf dem Werkstück 10.

In den Umlenkspiegel 12 integriert ist eine Zuführleinrichtung für die zur Bildung des Werkstücks 10 dienen den Materialpartikel 19. In der Zeichnung ist die Zuführ-

einrichtung schematisch durch ein Röhrchen 20 ange-deutet. Es sind jedoch auch andere Gestaltungen der Zuführleinrichtung denkbar. Eine Längsmittelachse des Röhrchens 20 befindet sich in Verlängerung über dem Fokuspunkt 17 und über dem Schweißpunkt 18. Auf diese Weise gelangen die durch das Röhrchen 20 zuge-führten Materialpartikel 19 entlang einer Bewegungs-bahn 21 durch den Fokuspunkt 17 zum Schweißpunkt 18. Die Bewegungsbahn 21 liegt auf der Längsmittelach-se des Röhrchens 20. Die Bewegungsbahn 21 verläuft im gezeigten Ausführungsbeispiel senkrecht. Es sind aber auch andere, zum Beispiel schräge oder horizontale, Richtungen der Bewegungsbahn 21 denkbar. Transportiert werden die Materialpartikel 19 auf der Bewegungs-bahn 21 durch einen Gasstrom.

Bei den Materialpartikeln 19 kann es sich um in her-kommlicher Weise gebildete Körner, beispielsweise Metallkörner, handeln. Sie können den Röhrchen 20 aus einem in der Zeichnung nicht dargestellten Vorratsbe-hälter zugeführt werden oder von einem Draht abge-trennt sein, beispielsweise durch Schmelzen.

Zur Herstellung des Werkstücks 10 wird die Bear-beitungsoptik mit dem Umlenkspiegel 12 entlang einer nicht gezeigten Bahn bewegt. Diese Bahn kann über beliebige Verläufe verfügen. Es entstehen so Reihen aus nebeneinanderliegend verschweißten Materialpartikeln 19. Nachdem eine Reihe fertiggestellt ist, wird der Bear-beitungskopf mit dem Umlenkspiegel 12 auf einer senk-recht zur Reihe verlaufenden horizontalen Bahn weiter-bewegt um eine Reihenbreite bzw. den Durchmesser der Materialpartikel 19. Auf diese Weise wird eine in einer Ebene liegende Schicht 11 aus mehreren neben-einander angeordneten Reihen gebildet, indem die Ebene der jeweiligen Schicht 11 durch den Fokuspunkt 17 rasterartig abgefahrt wird. Nachdem eine Schicht 11 fertiggestellt ist, wird die Bearbeitungsoptik mit dem Umlenkspiegel 12 senkrecht hochgefahren, und zwar entsprechen-  
dend der Dicke der jeweiligen Schicht 11.

Als Energiequelle kommt eine Energiequelle großer Bestrahlungsstärke bzw. hoher Intensität, beispielswei-se ein Laser, in Betracht. Bei den Einfallsstrahlen 13, 14 und den Ausfallstrahlen 15, 16 handelt es sich dann um Laserstrahlen. Abweichend vom gezeigten Ausführungsbeispiel können mehr als zwei Laserstrahlen Ver-wendung finden. Es ist auch denkbar, nur einen Laser-strahl zu verwenden.

Die Verschweißung der Materialpartikel 19 findet da-durch statt, daß diese mit einer vorgegebenen Ge-schwindigkeit auf den Schweißpunkt 18 auftreffen. Es ist auch denkbar, zur Intensivierung der Verschweißung die Materialpartikel 19 mit einem Impuls zu versehen. Dieses kann dadurch geschehen, daß die Materialpartikel 19 längs ihrer Bewegungsbahn 21 beschleunigt wer-den, beispielsweise durch die Energie des Lasers im Fokuspunkt 17, einen gepulsten Laserstrahl, elektrody-na-misch oder durch ein Fördergas.

Für das erfundungsgemäße Verfahren finden vorzugs-weise Materialpartikel 19 mit einer Partikelgröße bzw. einem Durchmesser von 30 µm bis 300 µm Verwendung. Der Durchmesser des Fokuspunkts 17 liegt vorzugswei-se im Bereich von 10 µm bis 1 mm. Die Geschwindigkeit, mit der die Materialpartikel 19 sich entlang der Bewe-gungsbahn 21, insbesondere durch den Fokuspunkt 17, bewegen, beträgt vorzugsweise von 1 m/s bis 300 m/s. Die Erwärmungszeit der Materialpartikel 19 im Fokus-punkt 17 liegt zwischen 10 ns und 10 ms. Aus den vorste-hend genannten Wertebereichen werden die konkreten Werte ausgewählt nach der Art des zu verarbeitenden

Materials, der Größe des Werkstücks 10 und der Dicke der zu erwärmenden bzw. einzuschmelzenden Rand-schicht der Materialpartikel 19.

Alternativ zum vorstehend beschriebenen Verfahren ist es denkbar, die Materialpartikel 19 im Schweißpunkt 18 randschichtseitig zu erwärmen. Dann fallen der Fokuspunkt 17 und der Schweißpunkt 18 zusammen. Gleichzeitig erfolgt eine Anwärmung des Werkstücks 10 am Schweißpunkt 18.

10

#### Bezugszeichenliste

- 10 Werkstück
- 11 Schicht
- 15 12 Umlenkspiegel
- 13 Einfallsstrahl
- 14 Einfallsstrahl
- 15 Ausfallsstrahl
- 16 Ausfallsstrahl
- 20 17 Fokuspunkt
- 18 Schweißpunkt
- 19 Materialpartikel
- 20 Röhrchen
- 21 Bewegungsbahn

25

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Freiformherstellung von Werk-stücken aus thermisch behandelbaren Materialien, wobei das Werkstück aus mehreren Schichten er-wärmt und miteinander verschweißter Material-partikel gebildet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) vor dem Verschwei-ßen nur am Rand erwärmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekenn-zeichnet, daß nur eine (äußere) Randschicht der Materialpartikel (19) erwärmt, insbesondere ange-schmolzen, wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch ge-kennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) durch mindestens eine Energiequelle hoher Intensität bzw. hoher Bestrahlungsstärke erwärmt werden.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der An-sprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) auf ihrer Bewegungsbahn (21) zum herzustellenden Werkstück (10) erwärmt wer-den.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der An-sprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) in einem Fokuspunkt (17) mindestens eines Energiestrahls hoher Intensität erwärmt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekenn-zeichnet, daß der Fokuspunkt (17) einen Durchmes-ser von 10 µm bis 1 mm aufweist.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der An-sprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmung der Materialpartikel (19) am Schweiß-punkt (18) erfolgt.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der An-sprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig mit der Erwärmung der Materialpartikel (19) das Werkstück (10) am Schweißpunkt (18) angewärmt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch ge-kennzeichnet, daß der Fokuspunkt (17) auf dem Schweißpunkt (18) liegt.
10. Verfahren nach einem oder mehreren der An-

sprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) zur Verschweißung mit dem Werkstück (10) durch einen Impuls beaufschlagt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Impuls gebildet wird durch den Energierstrahl hoher Intensität, insbesondere durch einen gepulsten Energierstrahl hoher Intensität, einen Gasstrom, verdampftes Material der Materialpartikel (19) und/oder ein bewegtes Magnetfeld (elektrodynamisch). 5

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Beaufschlagung der Materialpartikel (19) mit einem Impuls im Fokuspunkt (17) erfolgt. 15

13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmungszeit der Materialpartikel (19) 10 ns bis 10 ms beträgt.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit der Materialpartikel (19) auf der Bewegungsbahn (21) 1 m/s bis 300 m/s beträgt. 20

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialpartikel (19) Pulverkörner mit einer Partikel- bzw. Korngröße von 30 µm bis 300 µm sind. 25

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulverkörner aus Metall, Keramik oder Polymer bestehen. 30

17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß als Energierstrahl hoher Intensität mindestens ein Laserstrahl verwendet wird. 35

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

